

内湾における汚濁負荷と富栄養化の解析に関する研究

著者	野村 宗弘
号	2186
発行年	1997
URL	http://hdl.handle.net/10097/7459

氏 名 の むら むね ひろ
野 村 宗 弘

授 与 学 位 博士（工学）

学 位 授 与 年 月 日 平成 10 年 3 月 25 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 4 条第 1 項

研究科、専攻の名称 東北大学大学院工学研究科（博士課程）土木工学専攻

学 位 論 文 題 目 内湾における汚濁負荷と富栄養化の解析に関する研究

指 導 教 官 東北大学教授 須藤 隆一

論 文 審 査 委 員 主査 東北大学教授 須藤 隆一 東北大学教授 野池 達也

東北大学教授 澤本 正樹 東北大学教授 大村 達夫

論文内容要旨

わが国の内湾・内海は、世界においても比類のない白砂青松の景観が唄われた景勝地を有しているとともに、船舶の航行、荒天時の避泊、漁業生産、工業用水源、海洋レクリエーションなど、空間的資源として多様な利用・開発がなされている。こうした海域の様々な恩恵を享受できるように将来にわたって良好な状態で保全していくことが望まれている。また、近年、水辺・海辺は大都市圏における自然との貴重なふれあい空間として見直されており、海洋レクリエーションへの関心の高まりや海上・野鳥公園の整備という事例からも沿岸域は特に注目を集めていることが分かる。

これまで内湾の水環境は飲料水として利用できない、窒素やリンが増加すると漁獲量が上がるという理由から湖沼や河川といった淡水域と異なり水質保全に重点が置かれていなかった。そのためか、閉鎖性水域においては、富栄養化にともなう水質悪化が叫ばれている現状にある。富栄養化は、北海、地中海、チェサピーク湾などの先進諸国の内湾においても報告されているように世界的に共通した現象であるが、外洋における地球規模の環境問題はそれほど顕在化していない。大気の問題は顕在化しやすいし、定量的に把握しやすい。このため現状の地球環境問題は大気に集中しているが、海域に潜在する地球環境問題は多いはずである。海洋は大きく地球表面積の約7割を占めており、平均深度は 3,800m もあるから海域全体の富栄養化が急速に進行するとは考えにくい。しかしながら、外洋に地球規模の富栄養化が顕在化する時は、本当に地球が危ないのかもしれない。海域の環境破壊や富栄養化は外洋への入り口である内湾・内海で食い止めなければならない。

海域の汚濁負荷は外来性 COD だけでなく、窒素やリンなどの栄養塩による一次生産（光合成）に寄与しており、どちらかといえば、一次生産からの有機物生産の割合が大きく、半分以上を占めるとも言われている。これは富栄養化あるいは内部生産と呼ばれ、この防止対策はきわめて難しい。これまで水質環境基準、排出基準の制定に伴

い水質改善策が採られてきたが、一次生産を引き起こす窒素・リンの処理が不十分であることや規制外の生活排水の比率が増大することもあり、その影響は湖沼のみならず海域まで及んでいる。窒素・リンについては、海外から食料や工業原料などが新たにわが国に持ち込まれ、陸域に蓄積するものや製品として輸出されるもの以外は最終的に海に流出していることになる。特に沿岸域に属する内湾については、陸域からの汚濁物質が蓄積しやすい水域の物理的特性に加え、これらの水域の周辺およびその集水域で営まれている人々の諸活動に起因する汚濁物質が原因で水質汚濁が進行している水域も多い。すなわち、内湾はその地域の顔に相当し、地域の健全性を反映している場とも言える。

昨今、騒がれている環境問題とは、環境に対する負荷が許容量を超えてしまったところに原因があると言われている。どの分野においても環境と人為的負荷の共存を計るには、如何なる点で妥協すればいいのかという線引きを実施し、それに適した負荷量を知ることが重要である。すなわち、将来にわたり沿岸環境を健全に維持していくためには、各湾に対する適正な負荷量を把握することが極めて重要な課題と考えられる。

また、富栄養化の進行した閉鎖性水域での植物プランクトン増殖による内部生産の増大は COD の増加のみならず、海底の堆積有機物を増加させるとともに底層水の貧酸素化をもたらしている。さらに、赤潮や青潮のようなイベント的な現象がいまだに発生しており、水産への被害はもとより海域の自浄作用の低下による富栄養化の進行ならびに沿岸域における開発、利水、親水などの多様な機能への悪影響が社会問題化している。海域の富栄養化による影響の典型的な例は赤潮と言えるが、それとともに、近年、特に注目されているのが底層の貧酸素化である。底層水の貧酸素化により魚介類の生息状況が変化し、水産業への影響が生じるので貧酸素水塊が海域の生態系へ与える影響も大きいと考えられる。内湾において最も深刻な問題がこの現象であり、また、赤潮発生についても貧酸素水塊との関わりが懸念されている。したがって沿岸域を利用するにあたり、富栄養化の機構とその影響を把握することは極めて重要な課題と言える。

そこで本論文では、これらの課題に対応するためギンザケ (*Oncorhynchus kisutch*) 養殖が盛んに行われていた宮城県北部に位置する志津川湾を対象として、汚濁負荷量の算定、養殖場水域の物質収支の把握、水質・底質に及ぼす水産養殖からの汚濁負荷の影響を評価することにより、湾に対する適正な流入負荷量を検討した。加えて機器を用いた底層溶存酸素の長期観測を行うことにより貧酸素水塊に関する形成機構の解明および予測を行うことを目的とした。さらに富栄養化した内湾の水質改善方策の一つとして海藻を使った水質浄化の可能性についても検討を行った。本論文は全編7章から構成されている。各章の概略は以下の通りである。

第1章 総論

第1章「総論」では、本研究の背景と目的および本論文の構成について述べた。

第2章 内湾における富栄養化に関する既往の研究

第2章「内湾における富栄養化に関する既往の研究」では、内湾の富栄養化に及ぼす水産養殖業の影響、貧酸素水塊の形成、海藻を用いた水質浄化の評価に関する既往の研究について考察し、本研究の課題を整理した。

第3章 水産養殖からの汚濁負荷解析

第3章「水産養殖からの汚濁負荷解析」では、志津川湾内に流入するギンザケ養殖からの負荷量および原単位を算定するとともに養殖餌料が水質に与える影響について検討した。さらに、ギンザケ養殖水域とカキ養殖水域における汚濁機構の相違を酸素消費という観点から解析した。また、養殖海域における物質収支を把握した上で負荷削減に対する提言を行った。その結果、各海域における底泥の酸素消費速度は、カキ養殖場で $0.8\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ 、ギンザケ養殖場で $1.2\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ を示すこと；ギンザケ養殖場では、餌料由来の沈降物質の無機化率が約80%と大きいために、沈降過程での分解が大きく底質をそれほど悪化させないこと；カキ養殖場では沈降物質の無機化が約45%とあまり進行しないことに合わせて、沈降量が多いために底質の悪化を招いていること；月毎のギンザケ養殖に関する汚濁負荷の原単位が算出でき、1992年の年間負荷量としては、3,200トン-BOD以上と見積もられ、23万人規模の負荷量に相当すること；各種室内実験により1992年のギンザケ養殖場における窒素収支を評価したところ、給餌量の約44%が水揚げ、約22%が溶解・無機化、約27%が沈降・堆積、約5%が底泥から回帰してくること；この物質収支より給餌量が増加する5月、6月に残餌、排泄物を排除することにより年間負荷量の約6割の削減に貢献すること；また残餌率を5%から0%に改善すれば、約2割の削減効果が見込まれることなどが明らかになった。

第4章 内湾における貧酸素水塊の形成機構

第4章「内湾における貧酸素水塊の形成機構」では、現地観測により貧酸素水塊の分布特性を明らかにするとともに、溶存酸素計、水温計、流速計を用いて、貧酸素水塊の形成・消長を長時間にわたり連続的にモニタリングした。その結果、志津川湾では局地的な貧酸素水塊の存在が確認されたこと；降雨後の底層水の酸素消費速度は $0.14\text{g-O}_2/\text{m}^3/\text{h}$ を示し、平常時の $0.017\text{g-O}_2/\text{m}^3/\text{h}$ を大きく上回ること；DOの急変現象は、1～2日の継続期間を有する大規模なDO低下（貧酸素水塊の移動）、潮位変動に対応して生じる12時間あるいは24時間周期のDO変動の二種類に分類できること；これまで湾奥において貧酸素化が進行していくものと考えられていたが、他の水域から貧酸素水塊が湾奥まで移動してくることが観測され、貧酸素水塊の挙動が二層ボックスモデルを用いて実証できることなどが示唆された。

第5章 内湾の水質に及ぼす水産養殖からの汚濁負荷の影響

第5章「内湾の水質に及ぼす水産養殖からの汚濁負荷の影響」では、ギンザケ養殖が水質・底質に及ぼす影響を数年間にわたる気象・水質データから明らかにするとともに、湾に対する適正な流入負荷量について検討した。その結果、ギンザケ養殖の最盛期（1989年－1992年）と衰退期（1994年－1997年）において各水質項目について比較したところ、湾全体の平均COD値（0.94から0.57mg/l）、湾全体の δ DO値（0.86から0.55mg/l）、ギンザケ水域のCOD_{max}値（1.13から0.68mg/l）、ギンザケ水域の δ DO値（1.28から0.69mg/l）については、それぞれ有意な差が認められ、水質の改善傾向が把握できたこと；整理されたデータを用いて重回帰分析を行った結果、ギンザケ水域におけるCODはBOD負荷量、気温、日照時間、風向に、また、ギンザケ水域における δ DOはBOD負荷量、気温、日照時間、降雨量にそれぞれ影響を受け、ともにギンザケ養殖の影響を大きく受けていること；ギンザケ水域におけるDO値に関する予

測式を用いて試算した結果、底層DOを健全に保つためにはギンザケ養殖量を4,000トン/年に制限する必要性などが明らかになった。

第6章 内湾の水質浄化における海藻の役割

第6章「内湾の水質浄化における海藻の役割」では、富栄養化した内湾の水質改善方策の一つとして海藻を使った水質浄化の可能性について検討を行った。その結果、物質収支モデル式により、5月における藻場(アカモク)は外部負荷(河川+底泥)の約7割を藻体として取り込み、内湾で栄養塩の貯蔵場として働くこと;7月の枯死・分解期には蓄積していた栄養塩を放出する汚濁源として働き、水温の上昇期と相まってChl.aの増殖を招くこと;この時期に流出する海藻の中で約7割が流れ藻として外海に流出していくこと;各パラメータに関して感度解析を行った結果、湾内の平均Chl.a値(藻類増殖)に対する影響は、アレロパシー効果よりも海藻の栄養塩摂取速度の方が大きいこと;5月において藻場が全て喪失した場合、現状の約2倍の値、すなわちChl.aで12 μ g/l、全窒素で0.15mg/l、全リンで0.02mg/lを示すことが計算され、現状の藻場面積においても海藻が水質に大きく寄与していることなどが示唆された。

第7章 総括および結論

第7章「総括および結論」では、本研究で得られた成果の総括および結論を述べた。

審査結果の要旨

わが国の内湾・内海といった閉鎖性水域においては、富栄養化に伴う植物プランクトンの大量増殖に起因する赤潮や青潮現象がいまだに発生しており、水産への被害はもとより内湾における利水、親水、景観などの多様な機能への悪影響が大きな社会問題になっている。したがって、内湾を利用するにあたり、富栄養化の機構とその影響を把握することは極めて重要な課題と言われている。

本論文は、これらの課題に対応するためギンザケ (*Oncorhynchus kisutch*) 養殖が盛んに行われていた宮城県北部に位置する志津川湾を対象として、汚濁負荷量の算定、養殖場水域の物質収支をふまえた内湾に対する適正な流入負荷量の評価、貧酸素水塊形成の機構解明および予測、さらに富栄養化した内湾の水質改善方策の一つとして海藻を使った水質浄化の可能性などを検討した成果をとりまとめたもので、全編7章より構成される。

第1章は、総論である。

第2章は、内湾の富栄養化に関する研究の現況と今後取り組むべき研究課題について示している。

第3章では、水産養殖からの汚濁負荷に関して解析を行っている。志津川湾内に流入するギンザケ養殖からの負荷量および原単位を算定するとともに養殖餌料が水質に与える影響について検討している。また、ギンザケ養殖水域とカキ養殖水域における汚濁機構の相違を酸素消費という観点から解析している。さらに養殖海域における物質収支を把握した上で負荷削減に対する提言も行っている。これらは有用な知見と言える。

第4章では、内湾における貧酸素水塊の形成機構に関して評価を行っている。現地観測により貧酸素水塊の分布特性を明らかにするとともに溶存酸素計、水温計、流速計を用いて、貧酸素水塊の形成・消長を長時間にわたり連続的にモニタリングしている。観測データより降雨の有無が貧酸素水塊の形成に関与すること、形成速度などを明らかにしている。これは特に重要な成果である。

第5章では、内湾の水質に及ぼす水産養殖からの汚濁負荷の影響について解析を行っている。ギンザケ養殖が水質・底質に及ぼす影響を数年間にわたる気象・水質データから明らかにするとともに、湾に対する適正な流入負荷量について検討している。これは有用な成果である。

第6章では、富栄養化した内湾の水質改善策の一つとして海藻を使った水質浄化の可能性について検討を行っている。現状の藻場面積においても海藻が水質に大きく寄与していることや湾内の Chl. a に対する影響などを示している。これらの解析結果は内湾の水質改善に貴重な示唆を与えている。

第7章は、総括および結論である。

以上要するに本論文は、志津川湾を対象として内湾における汚濁負荷に係わる調査・解析を通して、内湾に対する適正な負荷量の算定や貧酸素水塊の形成機構に関して検討した成果を示したもので、環境工学の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。